



Marko Gulin

Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

marko.gulin@fer.hr

Prediktivno upravljanje mikromrežom u zgradi

ENHEMS-Buildings seminar s istraživačima Sveučilišta u Splitu

Sveučilište u Splitu Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Split, 29. lipnja 2015.



Ulaganje
u budućnost!



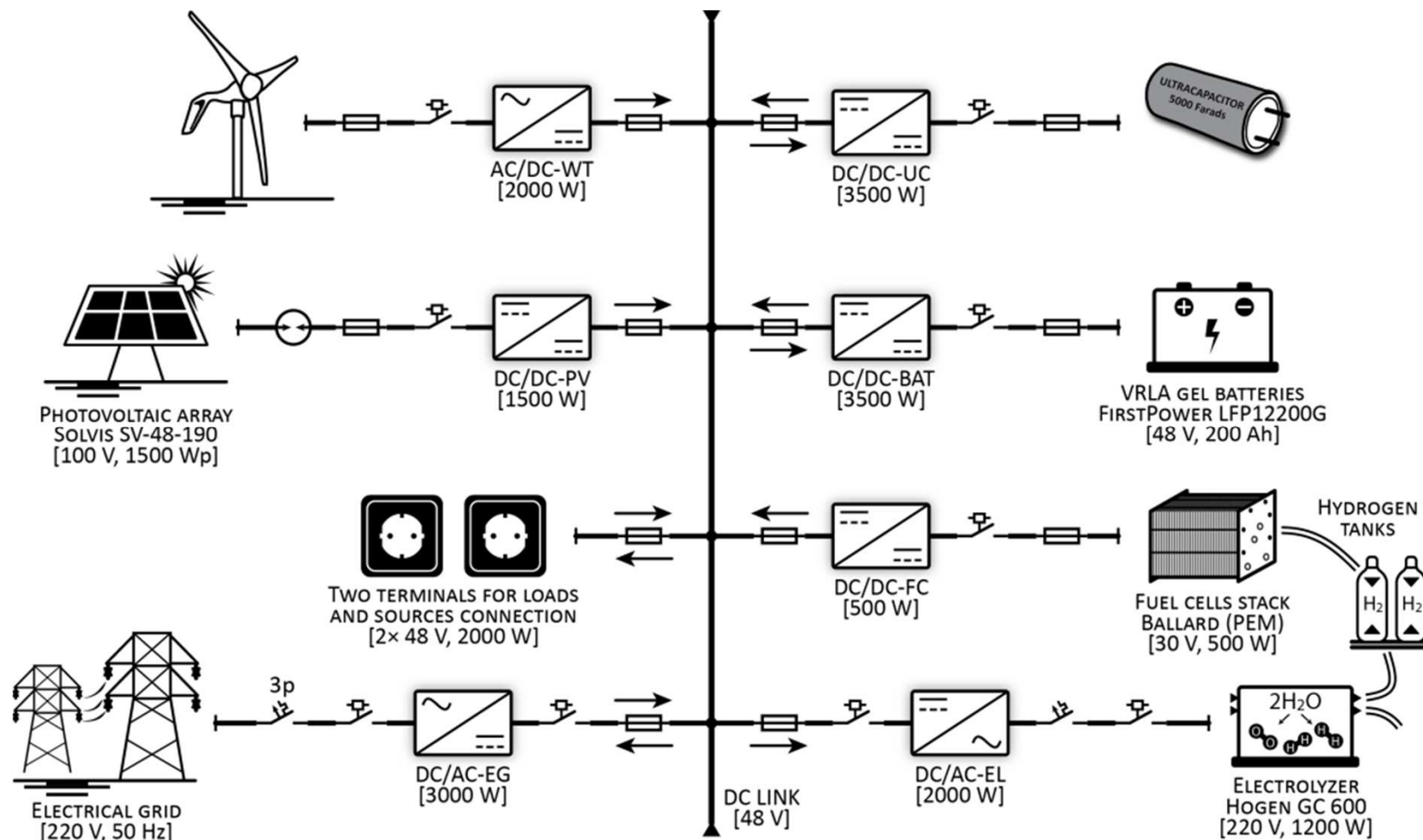
Ministarstvo
znanosti,
obrazovanja
i sporta

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj

Istosmjerna mikromreža u LARES-u



LARES
Laboratorij za
sustave obnovljivih
izvora energije
vjetar sunce vodik



Hijerarhijsko upravljanje mikromrežom

- Niska razina upravljanja
 - Upravljanje na razini pretvarača snage
- **Srednja razina upravljanja**
 - Upravljanje naponom na mikromrežnoj sabirnici
- **Visoka razina upravljanja**
 - Optimizacija tokova snage u mikromreži za optimalan ekonomski rad mikromreže
- Kako *pomiriti* visoku i srednju razinu?

Model istosmjernje mikromreže

- Jednadžba ravnoteže mora uvijek biti zadovoljena:

$$P^{PV} + P^{BAT} + P^{FC} + P^G = P^L$$

- Sustav elektrolizatora sa spremnicima vodika i gorivnim ćelijama razmatra se kao jedan sustav za pohranu električne energije
- Snage P^{BAT} , P^{FC} i P^G imaju **pozitivan predznak** kada opskrbljuju mikromrežnu sabirnicu, tj. za pražnjenje spremnika energije i za uvoz energije iz mreže

Nesigurnost prognoza profila snage

- Dvije varijable koje unose nesigurnost:
 - Proizvodnja električne energije iz fotonaponskih panela P^{PV}
 - Lokalna potrošnja električne energije P^L
- Nesigurnost prognoze uglavnom je uzrokovana s **nesigurnošću ulaznih meteoroloških prognoza** i s **nesigurnošću predikcijskog modela**
- Stvarni poremećaj (tj. prognoza) koji djeluje na sustav može se razložiti na očekivanje i neodređenost:

$$V_k = \bar{V}_k + W_k$$

Model sustava za pohranu energije

- Dinamika sustava određena je sustavima za pohranu električne energije:

$$\begin{cases} x_{k+1}^{\text{BAT}} = x_k^{\text{BAT}} - \eta^{\text{BAT}} \frac{\Delta T}{C^{\text{BAT}}} P_k^{\text{BAT}}, \\ x_{k+1}^{\text{FC}} = x_k^{\text{FC}} - \eta^{\text{FC}} \frac{\Delta T}{C^{\text{FC}}} P_k^{\text{FC}}, \end{cases}$$

gdje je x_k normalizirano **stanje napunjenosti** spremnika energije, a η je **efikanost punjenja ili pražnjenja**

- Autori obično uvode binarnu varijablu δ za odlučivanje koju efikasnost koristiti u k -tom vremenskom trenutku:

$$[P_k < 0] \Leftrightarrow [\delta_k = 0], \quad [P_k \geq 0] \Leftrightarrow [\delta_k = 1],$$

Pristup bez korištenja binarnih varijabli

- Umjesto korištenja binarnih varijabli, snaga spremnika energije može se razložiti na komponente za punjenje i pražnjenje:

$$\begin{cases} x_{k+1}^{\text{BAT}} = x_k^{\text{BAT}} - \frac{\Delta T}{C^{\text{BAT}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{dch}}^{\text{BAT}}} P_{\text{dch},k}^{\text{BAT}} + \eta_{\text{ch}}^{\text{BAT}} P_{\text{ch},k}^{\text{BAT}} \right), \\ x_{k+1}^{\text{FC}} = x_k^{\text{FC}} - \frac{\Delta T}{C^{\text{FC}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{dch}}^{\text{FC}}} P_{\text{dch},k}^{\text{FC}} + \eta_{\text{ch}}^{\text{FC}} P_{\text{ch},k}^{\text{FC}} \right), \end{cases}$$

- Pristupi sa i bez korištenja binarnih varijabli **matematički nisu ekvivalentni!**
- Optimalna rješenja za oba pristupa su jednaka za određene kriterijske funkcije

Optimizacija tokova snage u mikromreži



- Optimizacija tokova snage u mikromreži formulira se na temelju:
 - Trenutnog stanja napunjenosti spremnika energije
 - Prognoze profila proizvodnje i potrošnje energije
 - Prognoze profila cijene električne energije
- Cilj optimizacije je pronaći optimalne profile punjenja i pražnjenja spremnika energije u^* za najbolji mogući **ekonomski rad mikromreže**

Kriterijska funkcija i ograničenja

- Kriterijska funkcija je **ukupna cijena uvezene električne energije** iz mreže na kraju predikcijskog horizonta:

$$J(\mathbf{u}, x_0, \mathbf{c}, \bar{\mathbf{v}}) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k P_k^G \Delta T,$$

- Tehnička ograničenja koja postoje u sustavu:

$$\begin{aligned} x_{\min} &\leq x_k \leq x_{\max}, & 0 \leq k \leq N, \\ u_{\min} &\leq u_k \leq u_{\max}, & 0 \leq k \leq N - 1, \\ P_{\min}^G &\leq P_k^G \leq P_{\max}^G, & 0 \leq k \leq N - 1. \end{aligned}$$

Formulacija u obliku linearnog programa

- Optimizacijski problem može se zapisati u matričnom obliku u formi **linearnog programa**:

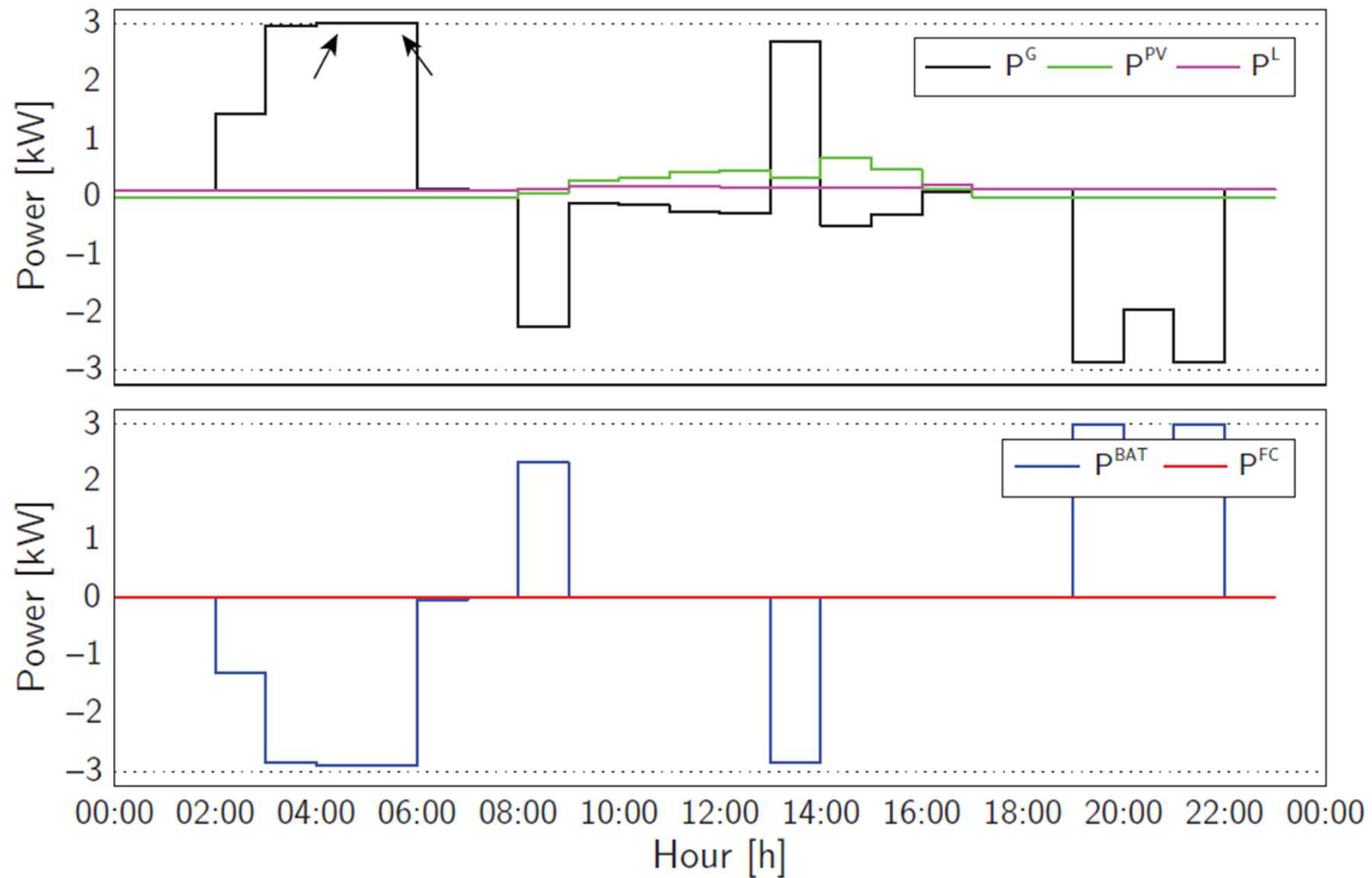
$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{u}} \quad & \mathbf{f}^T \mathbf{u} + d, \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{E}_x \mathbf{x}_0 + \mathbf{E}_u \mathbf{u} + \mathbf{E}_v \bar{\mathbf{v}} \leq \mathbf{g}, \end{aligned}$$

- Optimalno rješenje ovisi o prognozi proizvodnje i potrošnje u mikromreži \mathbf{v}

- Za **upravljanje u zatvorenoj petlji** koristi se tzv. modelsko prediktivno upravljanje (MPC)
- Rješenje MPC problema su trajektorije stanja \mathbf{x} i ulaza \mathbf{u}^* koje zadovoljavaju dinamički model sustava i zadana ograničenja uz minimizaciju zadanog kriterija:

$$\mathbf{u}^* = \arg \min_{\mathbf{u}} J(\mathbf{u}, \mathbf{x}_0, \mathbf{c}, \bar{\mathbf{v}}),$$
$$\text{s.t. } (11a), (11b), (11c) ,$$

Primjer upravljanja u zatvorenoj petlji





Zahvala

Predstavljeni istraživački rezultati dobiveni su unutar projekata **ENHEMS-Buildings – Unapređenje kapaciteta istraživanja, razvoja i transfera tehnologije vezanih uz sustave gospodarenja energijom u zgradama** (projekt sufinancira Europska unija u iznosu od 478.993,14 EUR putem ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. IPA2007/HR/16IPO/001-040510) i **3CON – Hijerarhijska konsolidacija velikih potrošača temeljena na upravljanju za integraciju u napredne mreže** (projekt financira Hrvatska zaklada za znanost u iznosu 1.000.000,00 HRK).

WEB STRANICA PROJEKTA ENHEMS-BUILDINGS

<http://www.enhems-buildings.fer.hr>

DISCLAIMER

Sadržaj ove prezentacije isključiva je odgovornost autora i ona ni na koji način ne odražava mišljenje Europske unije ili Hrvatske zaklade za znanost.